

**TUGAS AKHIR – SF 141501**

**STUDI SIFAT KELISTRIKAN rGO-CI DARI  
TEMPURUNG KELAPA TUA DENGAN EKSFOLIASI  
KIMIA MENGGUNAKAN LARUTAN  $\text{H}_2\text{SO}_4$**

**DIMAS ERY TRITAMA S.  
NRP 1113 100 107**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR – SF 141501**

**STUDI SIFAT KELISTRIKAN rGO-Cl DARI  
TEMPURUNG KELAPA TUA DENGAN EKSFOLIASI  
KIMIA MENGGUNAKAN LARUTAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

**DIMAS ERY TRITAMA S.  
NRP 1113 100 107**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Darminto**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**STUDY ON ELECTRICAL PROPERTIES OF rGO-  
Cl FROM OLD COCONUT SHELL CHEMICALLY  
EXFOLIATED USING  $\text{H}_2\text{SO}_4$  SOLUTION**

**DIMAS ERY TRITAMA S.  
NRP 1113 100 107**

**Supervisor  
Prof. Dr. Darminto**

**Department of Physics  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

**STUDI SIFAT KELISTRIKAN rGO-CI DARI  
TEMPURUNG KELAPA TUA DENGAN EKSFOLIASI  
KIMIA MENGGUNAKAN LARUTAN  $H_2SO_4$**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Bidang Fisika Material  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**DIMAS ERY TRITAMA S.**  
NRP. 11131007

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

**Prof. Dr. Darminto**  
NIP. 19600303 198701 1 002



(.....)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**STUDI SIFAT KELISTRIKAN rGO-Cl DARI  
TEMPURUNG KELAPA TUA DENGAN EKSFOLIASI  
KIMIA MENGGUNAKAN LARUTAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

**Nama** : Dimas Ery Tritama S.  
**NRP** : 1113100107  
**Jurusan** : Fisika, FMIPA-ITS  
**Pembimbing** : Prof. Dr. Darminto

**Abstrak**

*Grafena oksida tereduksi terdoping Cl (rGO-Cl) disintesis dari tempurung kelapa tua menggunakan metode eksfoliasi kimia menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Sintesis diawali dengan membakar tempurung kelapa tua menjadi arang, kemudian digerus halus dan akhirnya dipanaskan pada suhu 400 °C selama 3 jam. Serbuk yang dihasilkan dicampurkan dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaClO dengan perbandingan komposisi mol 1:1:0; 1:1:0,05; 1:1:0,1; dan 1:1:0,2; disonikasi selama 10 jam, disentrifugugasi pada 3500 rpm selama 30 menit, dan dikeringkan. Karakterisasi pada sifat kelistrikan menunjukkan bahwa doping Cl telah meningkatkan konduktivitas listrik dan kapasitansi spesifik rGO, dengan rentang sekitar 0,51 – 3,25 S/cm dan 2,64 – 5,70 F/g.*

***Kata kunci : eksfoliasi kimia, kapasitansi , konduktivitas, rGO-Cl, sifat kelistrikan***

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# STUDY ON ELECTRICAL PROPERTIES OF rGO-Cl FROM OLD COCONUT SHELL CHEMICALLY EXFOLIATED USING H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> SOLUTION

**Name** : Dimas Ery Tritama S.  
**NRP** : 1113100107  
**Departement** : Fisika, FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Prof. Dr. Darminto

## Abstract

*The Cl-doped reduced graphene oxide (rGO-Cl) has been synthesized from old coconut shells using chemical exfoliation method using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Synthesis was started with burning the old coconut shells into charcoal, then ground, and finally heated at 400°C for 3 hours. The powder produced was mixed with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaClO solution with molar composition of 1:1:0, 1:1:0.05, 1:1:0.1, and 1:1:0.2, being sonicated for 10 hours, centrifuged at 3500 rpm for 30 minute, and dried. Characterisations over electrical properties show that the Cl doping has enhanced the electrical conductivity and specific capacitance of rGO, in the range of 0.51 - 3.25 S/cm and 2.64 - 5.70 F/g, respectively.*

**Keyword** : *capacitance, chemical exfoliation, conductivity, electrical properties, rGO-Cl*



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **KATA PENGANTAR**

Assalamu'alaikum Wr. Wb, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, petunjuk serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

### **“STUDI SIFAT KELISTRIKAN rGO-CI DARI TEMPURUNG KELAPA TUA DENGAN EKSFOLIASI KIMIA MENGGUNAKAN LARUTAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>”**

Sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama perkuliahan.
2. Bapak Prof. Dr. Darminto selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Agus Purwanto selaku dosen wali atas segala bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menempuh pendidikan di Jurusan Fisika FMIPA ITS ini.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 20 Juni 2017

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>COVER PAGE .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Grafena .....	5
2.2 Grafena Oksida Tereduksi (rGO).....	6
2.3 Eksfoliasi Grafena Oksida Tereduksi .....	7

2.4 rGO dari Tempurung Kelapa Tua .....	9
2.5 Sifat Kelistrikan rGO .....	11
2.6 Superkapasitor Berbasis Grafena .....	12
2.7 Doping Atom pada rGO .....	14
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>17</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	17
3.2 Langkah Kerja .....	17
3.3.1 Persiapan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua ..	17
3.3.2 Proses Perlakuan Panas .....	17
3.3.3 Proses Persiapan Sampel rGO .....	18
3.3.3.1 Sintesis rGO dengan eksfoliasi kimia .....	18
3.3.3.2 Sintesis rGO-Cl .....	18
3.3.4 Pembuatan Elektroda Superkapasitor .....	19
3.3 Karakterisasi Bahan .....	19
3.3.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	19
3.3.2 Pengujian CHONS .....	19
3.3.3 Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	20
3.3.4 Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	20
3.3.5 Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	20
3.3.6 Pengujian <i>Four-Point Probe</i> .....	21
3.3.7 Pengujian <i>Cyclic Voltametry</i> (CV) .....	21
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	23
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Analisis Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua .....	25
4.1.1 Hasil Uji Fasa .....	25
4.1.2 Hasil Uji Komposisi Penyusun Bahan .....	26
4.2 Analisis rGO dan rGO-Cl .....	28
4.2.1 Hasil Uji Ukuran Partikel dan Distribusinya .....	29
4.2.2 Hasil Uji Fungsi Gugus Ikatan .....	31
4.2.3 Hasil Uji Konduktivitas .....	32
4.2.4 Hasil Uji Kapasitansi .....	34

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan .....	37
5.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>43</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>47</b>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil Hasil uji komposisi penyusun bahan pada Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua .....	27
Tabel 4.2	Hasil Ukuran Partikel dengan Menggunakan PSA .....	29
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Konduktivitas dan Energi Gap .....	32



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Pita Energi dari Grafena pada Kisi dan Perbesaran Pita Energi di Daerah Dekat Titik Dirac .....	6
Gambar 2.2	Grafena Diubah Menjadi Struktur Lain .....	7
Gambar 2.3	Struktur pada Grafit, GO dan rGO .....	8
Gambar 2.4	Eksfoliasi Fasa Cair pada Grafit .....	9
Gambar 2.5	Pola Difraksi Serbuk Tempurung Kelapa Tua .....	10
Gambar 2.6	Ilustrasi Prinsip Kerja EDLC .....	13
Gambar 3.1	Oven di Departemen Fisika ITS .....	18
Gambar 3.2	PSA <i>Zetasizer</i> di Departemen Fisika ITS .....	20
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian .....	23
Gambar 4.1	Pola Difraksi Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua .....	25
Gambar 4.2	Pola Difraksi GO dan rGO .....	26
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Ukuran Partikel dan Distribusinya dari rGO dan rGO-Cl menggunakan PSA .....	30
Gambar 4.4	Grafik FTIR sampel rGO .....	31
Gambar 4.5	Grafik FTIR sampel rGO-Cl .....	32
Gambar 4.6	Hasil Uji CV rGO-Cl .....	35

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN .....	43
Data XRF .....	43
Data PSA.....	44

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi menjadi kebutuhan utama manusia, terutama dalam dunia modern saat ini. Seiring dengan berkembangnya teknologi, kebutuhan energi di dunia semakin meningkat. Energi listrik merupakan energi yang paling banyak dikonsumsi dalam kehidupan di dunia modern ini. Energi listrik dapat dihasilkan dari konversi sumber energi terbarukan, seperti sinar matahari, angin dan air. Namun sumber daya tersebut tidaklah kontinyu, sehingga konversi energi tersebut haruslah disimpan dalam sebuah wadah penyimpanan energi. Selain itu, pada saat ini terjadi peningkatan kebutuhan akan peralatan elektronik dan kendaraan listrik. Maka dari itu dibutuhkan sebuah pengembangan sistem wadah penyimpanan energi yang efisien yang dapat digunakan dari skala pembangkit listrik energi terbarukan hingga penggunaan alat elektronik. Dan juga perlu dikembangkan suatu material yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi elektronik yang semakin berkembang.

Grafena merupakan material berbasis karbon yang sedang naik daun dalam perkembangan sains dan teknologi material. Material dua dimensi ini memiliki kelebihan berupa konduktivitas yang tinggi, luas permukaan yang besar, struktur yang stabil, murah dan ramah lingkungan. Grafena Oksida Tereduksi (*reduced graphene oxide*, rGO) merupakan turunan dari grafena. Berdasarkan penelitian Nasrullah (2014), rGO dapat diproduksi dengan mudah dan biaya yang murah dengan bahan baku tempurung kelapa tua. Dengan membakar tempurung kelapa tua pada suhu yang tinggi akan menghasilkan arang yang memiliki fasa rGO. Hal ini

merupakan kabar baik, karena tempurung kelapa tua yang selama ini hanya menjadi limbah ternyata dapat dimanfaatkan sebagai bahan dengan teknologi tinggi.

Grafena merupakan material yang sangat menarik karena sifat kelistrikannya yang sangat mengagumkan. Sebagai semikonduktor dengan energi gap bernilai nol dengan spektrum energi yang linear, grafena yang memiliki satu layer merealisasikan sistem dua dimensi partikel tak bermassa fermion Dirac yang merupakan kunci penting untuk mengetahui sifat listrik yang tak biasa, seperti Efek Quantum Hall, absennya lokalisasi Anderson dll. Hal-hal demikian ini merupakan hal yang membuat sifat kelistrikan dari grafena menjadi unik. Dengan keunikan ini, diharapkan grafena menjadi material yang dapat mengembangkan peralatan elektronik supaya menjadi lebih mutakhir.

Konduktivitas listrik merupakan salah satu sifat yang penting dalam material berbasis grafena. Semakin baik konduktivitasnya, maka semakin baik pula bila diaplikasikan dalam peralatan elektronik. Selain sifat listrik berupa konduktivitas, kapasitansi merupakan sifat yang penting dari material grafena. Karena luas permukaannya yang besar, grafena memiliki kapasitansi yang baik. Dengan kapasitansi yang cukup baik ini membuat grafena menjadi material yang menjanjikan sebagai bahan dasar wadah penyimpanan energi. Struktur penyusun dalam rGO maupun GO sangat mempengaruhi sifat listrik dari grafena. Dengan memahami dan memodifikasi struktur dalam grafena kita dapat mengaplikasikan material berbasis grafena menjadi berbagai peralatan elektronik seperti superkapasitor, lapisan termokonduktif, katalis, biosensor, sel surya dll.

Untuk memahami dan meningkatkan sifat kelistrikan dari rGO, dilakukan berbagai upaya penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh struktur rGO terhadap sifat kelistrikannya. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mendoping atom ke dalam struktur rGO. Salah satu atom yang digunakan adalah jenis halogen, seperti Cl. Dengan doping atom Cl ke dalam struktur rGO, terbukti konduktivitas listrik rGO meningkat. Pada penelitian lain juga terbukti doping atom Cl ke dalam struktur rGO dapat meningkatkan kapasitansi spesifik dari grafena.

Studi sifat kelistrikan rGO dari tempurung kelapa tua yang didoping dengan atom Cl dilakukan karena metode ini dirasa mampu meningkatkan kemampuan listrik yang dirasa masih rendah yang dimiliki karbon tempurung kelapa tua. Diharapkan dengan meningkatnya kemampuan listrik rGO dari tempurung kelapa tua dapat menjadi potensi untuk mengembangkan aplikasi elektronik yang lebih baik dan lebih murah.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Rumusan permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh doping atom Cl ke dalam struktur rGO terhadap sifat kelistrikannya dan berapa nilai konduktivitas dan kapasitansi dari rGO-Cl.

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada penggunaan bahan sintesis rGO yang disesuaikan dengan penelitian sebelumnya. Bahan utama rGO terbuat dari arang tempurung kelapa tua. Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  berfungsi untuk eksfoliasi kimia pada rGO. Atom Cl dari larutan  $\text{NaClO}$  merupakan atom doping yang akan dimasukkan ke dalam struktur rGO. Perbandingan komposisi



mol rGO,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{NaClO}$  secara berurutan adalah 1:1:0 ; 1:1:0,05 ; 1:1:0,1 dan 1:1:0,2. Sifat kelistrikan yang diamati terbatas pada konduktivitas listrik dan kapasitansi.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pengaruh doping atom Cl ke dalam struktur rGO terhadap sifat kelistrikannya dan mengetahui berapa nilai konduktivitas dan kapasitansi dari rGO-Cl.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menjadi landasan pengetahuan untuk penelitian selanjutnya terhadap sifat kelistrikan dan upaya meningkatkan sifat kelistrikan dari rGO sehingga dapat diaplikasikan dalam peralatan elektronik.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum penelitian. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar dasar teori yang digunakan ssebagai acuan penelitian. Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, serta Bab V berupa kesimpulan dan saran

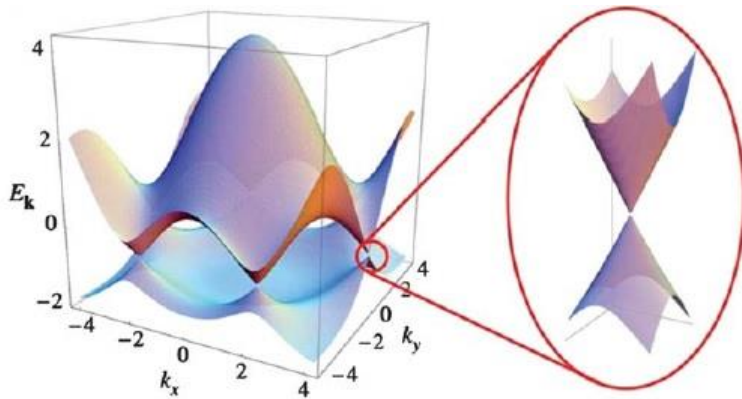
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Grafena**

Grafena adalah material karbon dua dimensi dengan kisi heksagonal (sarang lebah) yang berikatan  $sp^2$  dan memiliki satu layar saja. Grafena juga bisa disebut sebagai sebuah bidang dengan ketebalan 1 atom di dalam grafit yang cukup terisolasi dari lingkungan sehingga dapat diasumsikan berdiri sendiri (Geim, 2009). Idealnya grafena terdiri dari satu layar saja, tetapi sampel grafena dengan 2-10 layar masih dianggap sebagai grafena. Struktur yang lebih tebal diasumsikan sebagai lapisan tipis grafit (Geim dan Novoselov, 2007). Meskipun grafena dianggap datar secara sempurna, namun kenyataannya terdapat lipatan lipatan yang disebabkan oleh fluktuasi termal (Rao dkk, 2009).

Pada setiap atom karbon, orbital atom s,  $p_x$ , dan  $p_y$  membentuk ikatan sigma ( $\sigma$ ) dengan tiga atom karbon yang lain. Pita yang terisi dengan orbital  $\pi$  (pita valensi) dan pita yang kosong dengan  $\pi^*$  (pita konduksi) akan terbentuk karena adanya kelebihan dari tumpang tindih antar orbital  $p_z$  pada setiap atom karbon yang berikatan dengan atom karbon lain. Pita konduksi dan pita valensi akan saling bersentuhan pada ujung Zona Brillouin, oleh sebab itu grafena juga disebut sebagai bahan semikonduktor tanpa celah pita energi (Liu dkk, 2010). Gambar 2.1 menampilkan spektrum energi dari grafena dan perbesaran pada daerah dekat titik Dirac. Grafena juga memiliki mobilitas pembawa muatan yang sangat menakjubkan meski pada konsentrasi pembawa muatan yang tinggi dan pada suhu ruangan, oleh sebab itu grafena memiliki konduktivitas yang sangat tinggi (Bolotin dkk, 2008).

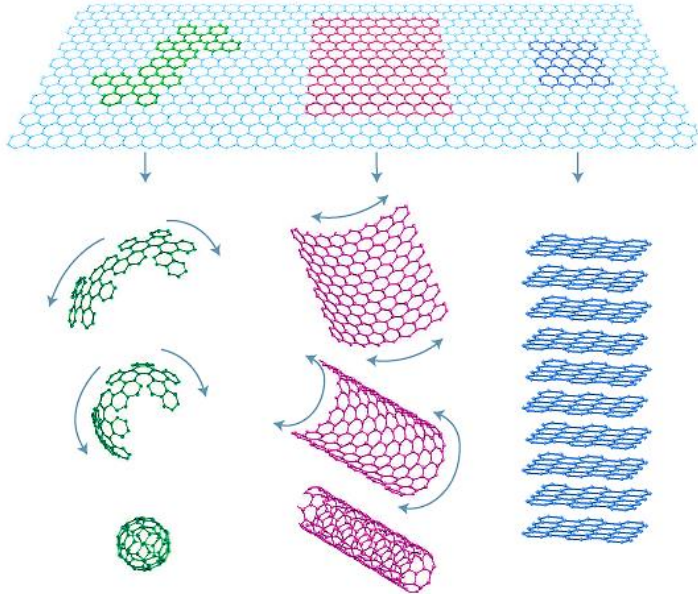


**Gambar 2. 1 Struktur Pita Energi dari Grafena pada Kisi dan Perbesaran Pita Energi di Daerah Dekat Titik Dirac (Liu dkk, 2010)**

Selain kelebihan konduktivitas yang tinggi, grafena merupakan material yang dirasa sangat menarik karena dapat diubah menjadi bentuk yang lain. Material dua dimensi merupakan struktur dasar dari seluruh material berbasis grafit dalam segala dimensi. Gambar 2.2 menampilkan bahwa grafena dapat diubah menjadi *fullness* (0D), *nanotubes* (1D), dan grafit (3D) (Geim dan Novoselov, 2007).

## 2.2 Grafena Oksida Tereeduksi (rGO)

Grafena oksida tereduksi (*reduced graphene oxide*, rGO) adalah turunan dari grafena. Umumnya rGO didapat dari eksfoliasi pada grafit oksida. Grafit oksida memiliki struktur lapisan yang sama dengan grafena namun memiliki banyak kandungan oksigen di dalam strukturnya, sehingga membuat jarak antar layarnya membesar dan juga ketebalannya menjadi lebih hidrofilik. Ketika grafit oksida dieksfoliasi, maka akan terbentuk lembaran yang terdiri dari satu layar saja yang disebut dengan grafena oksida (GO). Dengan mengurangi kandungan oksigen di dalam GO maka akan terbentuk suatu fasa baru yang disebut dengan rGO (Pei dan Cheng, 2011).

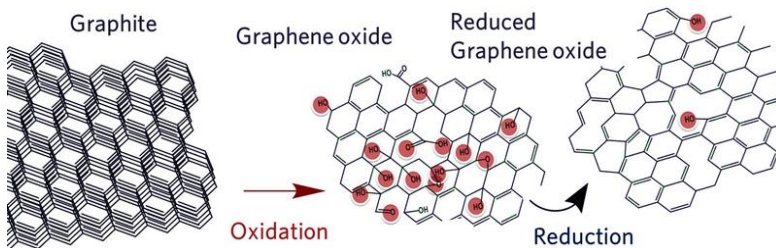


**Gambar 2. 2 Grafena diubah menjadi struktur lain (Geim dan Novoselov, 2007)**

Namun rGO dengan grafena maupun GO tidak bisa disamakan. Pada rGO terdapat residu gugus fungsional dan cacat yang merubah struktur bidang karbon dan rGO dengan grafena memiliki sifat yang cukup berbeda, sehingga rGO tidak tepat jika disamakan dengan grafena (Pei dan Cheng, 2011). Gambar 2.3 menampilkan struktur dari grafit, GO dan rGO. GO memiliki sifat isolator sehingga susah untuk diaplikasikan ke alat elektronik. Kehadiran oksigen membuat GO tidak stabil secara termal. rGO memiliki konduktivitas yang lebih baik daripada GO sehingga lebih banyak digunakan pada aplikasi elektronik (Stankovich dkk, 2007).

### **2.3 Eksfoliasi Grafena Oksida Tereduksi**

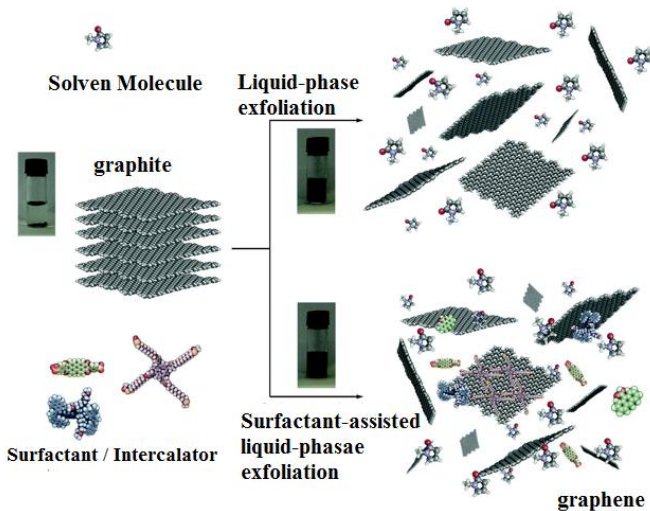
Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan lembaran grafena, yaitu pembelahan mekanik, pertumbuhan



**Gambar 2. 3 Struktur pada Grafit, GO, dan rGO (<https://www.utu.fi/>)**

epitaxial, dan eksfoliasi kimia. Namun eksfoliasi kimia merupakan metode yang paling efektif karena dapat memproduksi dalam skala yang besar secara mudah, murah dan ramah lingkungan (Zhang dkk, 2009). Metode eksfoliasi kimia melibatkan modifikasi grafena menjadi GO. Penyisipan oksida dan terbentuknya gugus fungsi yang mengandung oksigen merupakan prinsip dasar dari eksfoliasi kimia ini yang nantinya akan berguna untuk dispersi dan stabilisasi grafena di dalam air (Zhong dkk, 2014). Karena GO bersifat isolator, maka dilakukan reduksi agar mendapatkan konduktivitas yang lebih baik pada fasa rGO. Namun adanya cacat akibat reduksi pada GO menyebabkan struktur rGO berubah dan memiliki sifat listrik yang kurang baik dibandingkan dengan grafena murni (Xia dkk, 2013).

Lembaran GO bisa didapatkan melalui eksfoliasi pada grafit oksida dengan cara sonikasi di dalam air (Kim dkk, 2010). Metode ini juga sering disebut dengan eksfoliasi fasa cair (*Liquid Phase Exfoliation*, LPE). Gambar 2.4 menampilkan proses eksfoliasi cair pada grafit. Proses sonikasi juga dapat ditingkatkan dengan bantuan proses kimia di dalamnya. Pemilihan pelarut yang tepat untuk GO akan sangat mempengaruhi proses eksfoliasi ini (Zhong *et al*, 2014). Salah satu larutan yang dapat digunakan untuk eksfoliasi pada GO adalah  $H_2SO_4$ . Prinsip dasarnya adalah dengan menyisipkan atom S pada antar layar GO yang memiliki ikatan *van der waals* (Hong dkk, 2013). Lama waktu sonikasi dapat mempengaruhi kualitas dari grafena. Defek atau cacat akan



**Gambar 2. 4 Eksfoliasi fasa cair pada grafit (Ciesielski dan Samori, 2013)**

tercipta pada ujung ujung dari lembaran GO. Cacat ini mempengaruhi sifat listrik dari GO (Ciesielski dan Samori, 2013).

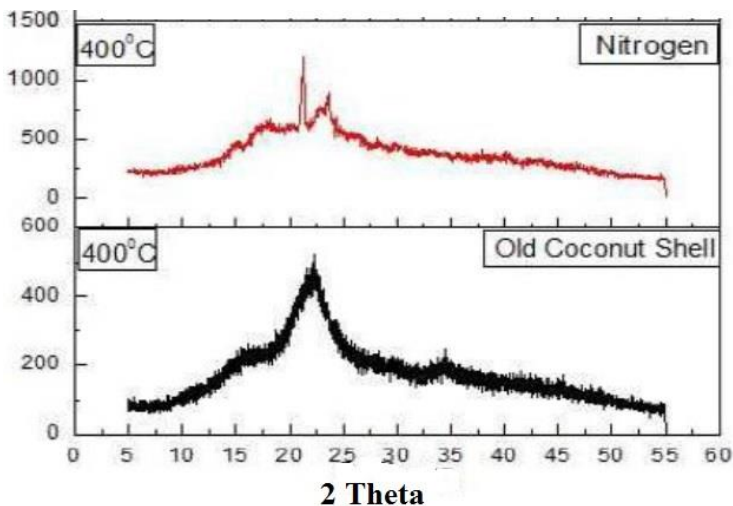
## **2.4 rGO dari Tempurung Kelapa Tua**

Buah kelapa terdiri dari serabut kelapa, tempurung kelapa, daging kelapa, dan air kelapa. Tempurung kelapa memiliki berat 15-19% dari keseluruhan berat kelapa dengan ketebalan berkisar 3-5 mm. Tempurung kelapa mengandung banyak karbon, yaitu berkisar 66,79-77,73%. Oleh sebab itu tempurung kelapa dirasa berpotensi sebagai arang karbon aktif. (Suhartana, 2006).

Tempurung kelapa merupakan limbah biomassa, yang utamanya terdiri dari serat selulosa, dan tersebar di seluruh penjuru dunia. Kelebihannya adalah murah, jumlahnya banyak, ramah lingkungan, tersedia secara komersial dan merupakan sumber daya yang terbarukan. Tempurung kelapa telah menjadi sebuah sumber karbon yang menjajikan yang sering digunakan untuk dijadikan karbon aktif. Sudah ada beberapa penelitian yang menggunakan

tempurung kelapa sebagai sumber karbon untuk dijadikan elektroda superkapasitor dan menghasilkan kapasitansi yang cukup baik. Namun, kapasitansi pada penggunaan tingkat yang lebih tinggi tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan aplikasi praktek. Hal ini diakibatkan karena stabilitas siklus hidup yang rendah dan kapasitansi yang kurang baik karena konduktivitas yang masih rendah (Sun,2013).

Berdasarkan penelitian, rGO dapat diproduksi melalui pembakaran tempurung kelapa tua pada udara terbuka. Tempurung kelapa tua yang dibakar akan menjadi arang yang dapat dihaluskan dengan ditumbuk dan dimortar hingga menjadi serbuk serbuk halus (Nasrullah, 2014). Berdasarkan hasil XRD yang ditampilkan pada Gambar 2.5, dibuktikan bahwa serbuk arang ini memiliki fasa rGO. Ikatan molekul yang teramati ikatan molekul utama yang ada pada grafena, yaitu C-C dan C=C. Terdapat juga gugus ikatan yang lain yang teramati, yaitu C-H, C-O, C=O, dan O-H yang mengindikasikan adanya fase rGO. rGO dari tempurung kelapa



**Gambar 2. 5 Pola Difraksi Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua**  
(Nugrahaeni dkk, 2014)

juga diketahui merupakan material semikonduktor (Nugrahaeni *et al*, 2014).

## **2.5 Sifat Kelistrikan rGO**

Grafena merupakan contoh dari material dua dimensi. Hal ini membuat banyak pertanyaan menarik muncul yang berkaitan dengan termodinamika, dinamika kisi dan sifat struktural dari sistem grafena. Sebagai semikonduktor dengan energi gap bernilai nol dengan spektrum energi yang linear, grafena yang memiliki satu layer merealisasikan sistem dua dimensi partikel tak bermassa fermion Dirac yang merupakan kunci penting untuk mengetahui sifat listrik yang tak biasa, seperti Efek Quantum Hall, absennya lokalisasi Anderson dll. Hal-hal demikian ini merupakan hal yang membuat sifat kelistrikan dari grafena menjadi unik. Dengan keunikan ini, diharapkan grafena menjadi material yang dapat mengembangkan peralatan elektronik supaya menjadi lebih mutakhir (Novoselov dkk, 2007).

Konduktivitas listrik merupakan salah satu sifat yang penting dalam material berbasis grafena. Semakin baik konduktivitasnya, maka semakin baik pula bila diaplikasikan dalam peralatan elektronik. Untuk menganalisa konduktivitas listrik, rGO dan GO dibuat menjadi pellet dan kemudian diukur dengan menggunakan *four-point probe*. Selain sifat listrik berupa konduktivitas, kapasitansi merupakan sifat yang penting dari material grafena. Karena luas permukaannya yang besar, grafena memiliki kapasitansi yang baik. Dengan kapasitansi yang cukup baik ini membuat grafena menjadi material yang menjanjikan sebagai bahan dasar wadah penyimpanan energi. Struktur penyusun dalam rGO maupun GO sangat mempengaruhi sifat listrik dari grafena. Dengan memahami dan modifikasi struktur dalam grafena kita dapat mengaplikasikan material berbasis grafena menjadi berbagai



peralatan elektronik seperti superkapasitor, lapisan termokonduktif, katalis, biosensor, sel surya dll (Morimoto dkk, 2016).

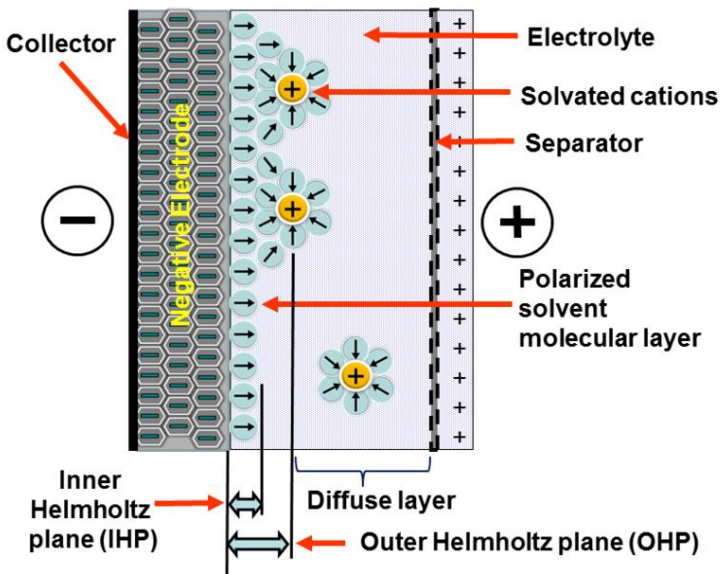
## 2.6 Superkapasitor Berbasis Grafena

Superkapasitor merupakan sistem wadah penyimpanan energi yang menjanjikan karena dapat menyimpan energi dalam jumlah yang besar dalam waktu yang singkat. Selain itu superkapasitor memiliki kelebihan berupa biaya perawatan yang murah, dapat bekerja bolak balik (pengisian-pelepasan muatan), dan siklus hidup yang sangat lama (Zhang dkk, 2010). Wadah penyimpanan energi ini sangat ideal untuk melengkapi bahkan menggantikan penggunaan baterai pada peralatan elektronik dan kendaraan listrik (Kaempgen dkk, 2009).

Jenis superkapasitor dapat dibagi menjadi dua jenis jika dilihat dari mekanisme penyimpanan energinya, yaitu kapasitor elektrokimia dwi lapis (*Electrochemical Double Layer Capacitors*, EDLC) dan pseudokapasitor (Winter dan Brodd, 2004). Prinsip kerja EDLC dalam menyimpan dan melepas energi adalah akumulasi muatan pada permukaan elektrokimia sebuah elektroda dan elektrolit. Gambar 2.6 menampilkan ilustrasi prinsip kerja dari EDLC. Oleh sebab itu luas permukaan elektroda menjadi faktor yang sangat penting untuk menentukan besar kapasitansi dari suatu superkapasitor. Pemilihan bahan untuk elektroda superkapasitor merupakan faktor yang penting untuk mendapatkan luas permukaan yang besar (Ke dan Wang, 2016).

Grafena dirasa merupakan material yang cocok sebagai bahan elektroda superkapasitor. Material ini memiliki kelebihan berupa konduktivitas yang tinggi, luas permukaan yang besar, struktur yang stabil, murah dan ramah lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kapasitansi spesifik dari grafena mencapai nilai  $135 \text{ Fg}^{-1}$ ,  $99 \text{ Fg}^{-1}$ , dan  $75 \text{ Fg}^{-1}$  di dalam larutan organik dan elektrolit (Zhang dkk, 2010).

Untuk mengetahui kapasitansi suatu bahan, dapat digunakan uji *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan pengukuran tiga elektroda. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian kapasitansi sewaktu pengujian CV. Massa dan ketebalan rGO, potensial tegangan CV dan larutan elektrolit yang digunakan mempengaruhi nilai kapasitansi rGO. Massa yang ideal untuk rGO dapat diuji CV adalah dalam orde milligram, kurang lebih 10 mg. ketebalan elektroda juga berpengaruh pada hasil kapasitansi yang didapat. Elektroda yang semakin tebal akan mempengaruhi elektrolit yang dapat terserap di dalam elektroda tersebut. Kemungkinan yang terjadi adalah kontak yang terjadi di dalam elektroda dengan elektrolit menjadi tidak efisien. Massa yang ideal untuk sebuah elektroda superkapasitor adalah kurang lebih 10  $\mu\text{m}$ . Selain itu ketebalan akan mempengaruhi massa yang didapat, sehingga ketika dilakukan perhitungan menghasilkan nilai



Gambar 2. 6 Ilustrasi Prinsip Kerja EDLC (Zhang dkk, 2010)

kapasitansi yang kecil karena ada faktor pembagi massa. Pada perhitungan nilai kapasitansi, massa yang digunakan adalah massa efektif karbon yang berarti massa yang melakukan kontak dengan elektrolit. Akibat dari tidak efisiennya akibat ketebalan elektroda, maka hal ini akan mempengaruhi nilai massa aktif karbon yang sebenarnya melakukan kontak dengan elektrolit. Pemilihan larutan elektrolit dan konsentrasinya mempengaruhi nilai arus yang terbaca pada grafik CV. Semakin rendah konsentrasi larutan elektrolit, maka semakin rendah arus yang tercipta. Rentang potensial CV yang digunakan juga memiliki nilai efisiennya sendiri. Untuk larutan elektrolit (seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), rentang potensial yang efisien adalah 1 V. Penggunaan rentang potensial yang terlalu besar dapat mengakibatkan pengukuran kapasitansi yang didapat terlalu tinggi melebihi nilai kapasitansi yang seharusnya, atau dapat dikatakan hal ini membuat pengukuran kapasitansi menjadi tidak akurat (Ruoff dan Stoller, 2010).

## 2.7 Doping Atom pada rGO

Karena dirasa kapasitansi spesifik yang masih kecil, dilakukan berbagai penelitian untuk meningkatkan kapasitansi dari rGO. Salah satu penelitian terdepan untuk meningkatkan kapasitansinya adalah dengan mendoping atom ke dalam struktur rGO. Ada beberapa atom yang telah dicoba didoping dalam rGO, yaitu boron, nitrogen, fosfor, sulfur dan oksigen (Wang dkk, 2014). Dari penelitian tersebut, yang dirasa paling menarik adalah doping atom nitrogen ke dalam rGO. Doping atom nitrogen ke dalam rGO terbukti dapat meningkatkan kapasitansi dari grafena (Usachov dkk, 2011).

Namun karena adanya interaksi yang intensif antara  $\pi$ -  $\pi$  menyebabkan luas permukaan dari rGO berkurang secara drastis, sehingga menyebabkan kapasitansinya berkurang juga (You dkk, 2013). Untuk itu dilakukan penelitian lain oleh Kakaei dkk (2016). dengan menggunakan atom jenis lain sebagai dopant pada rGO.

Kakaei dkk menggunakan atom Cl untuk didoping pada rGO. Dari penelitian tersebut Kakaei dkk berhasil mensintesis rGO-Cl dengan cara mencampurkan rGO ke dalam larutan asam yang mengandung klorin dan dibuktikan dengan adanya gugus ikatan C-Cl pada uji FTIR. rGO-Cl memiliki kapasitansi spesifik sebesar  $170 \text{ Fg}^{-1}$  yang berarti lebih besar dari kapasitansi rGO saja ( $100.5 \text{ Fg}^{-1}$ ). Oleh karena itu rGO-Cl dirasa merupakan bahan yang cocok untuk elektroda kapasitor (Kakaei dkk, 2016).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, *spatula*, *crucible*, *mortar*, timbangan digital, aluminium foil, lampu halogen, plastik, ayakan mesh 200, kertas saring halus, *oven*, *ultrasonic*, *stirrer*, *centrifuge*. Untuk uji karakterisasi digunakan alat berupa *X-ray Diffractometer* (XRD), *Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen, and Sulfur* (CHONS) *Analyzer*, *Particle Size Analyzer* (PSA), *spectrometer X-Ray Fluorescence* (XRF), *Four-point Probe* dan *Cyclic Voltametry* (CV). Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk arang tempurung kelapa tua, aquades, larutan NaClO, larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan pasta perak.

#### **3.2 Langkah Kerja**

##### **3.2.1 Persiapan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua**

Tempurung kelapa tua dibersihkan dari serabutnya sampai tersisa tempurungnya saja. Kemudian tempurung kelapa tua tersebut dibakar hingga menjadi arang. Arang hasil pembakaran ini memiliki fase rGO. Arang tersebut ditumbuk menggunakan mortar sehingga tercipta serbuk rGO yang halus dan disaring menggunakan ayakan mesh 200.

##### **3.2.2 Proses Perlakuan Panas**

Proses perlakuan panas dilakukan pada serbuk rGO dari tempurung kelapa tua untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor pada sampel. Sampel diletakkan di dalam *crucible* dan dipanaskan di dalam *Oven*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.1, pada



**Gambar 3. 1 Oven di Departemen Fisika ITS**

suhu 400 °C selama 3 jam. Pada saat pemanasan, akan terjadi penyusutan massa akibat berkurangnya unsur oksigen.

### **3.2.3 Proses Persiapan Sampel rGO**

#### **3.2.3.1 Sintesis rGO dengan eksfoliasi kimia**

Eksfoliasi kimia pada rGO dilakukan dengan mencampurkan rGO dengan larutan asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan variasi komposisi perbandingan mol 1:1. Kemudian diaduk dengan menggunakan *stirrer* selama 20 jam pada suhu 70 °C. Lalu disonikasi selama 10 jam dan disentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan 3500 rpm lalu rGO dikeringkan.

#### **3.2.3.2 Sintesis rGO-Cl**

Sintesis rGO-Cl dilakukan dengan mencampurkan serbuk rGO, larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan larutan  $\text{NaClO}$  dengan variasi komposisi perbandingan mol 1:1:0,05 ; 1:1:0,1 ; dan 1:1:0,2. Kemudian

diaduk dengan menggunakan *stirrer* selama 20 jam pada suhu 70 °C. Lalu disonikasi selama 10 jam dan disentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan 3500 rpm lalu rGO-Cl dikeringkan.

### **3.2.4 Pembuatan Elektroda Superkapasitor**

Sampel yang berupa serbuk hasil proses di atas dipadatkan dengan menggunakan kompaksi hidrolik manual dengan cetakan (*molding*) yang berdiameter 13 mm. Sampel kemudian dimasukkan untuk dicetak menjadi pelet. Pelet yang telah terbentuk kemudian dilapisi dengan pasta perak untuk memperluas kontak listrik antara *probe instrument* CV dengan pelet.

## **3.3 Karakterisasi Bahan**

### **3.3.1 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)**

Uji XRD dilakukan untuk analisa komposisi fasa bahan. Pengukuran XRD dilakukan dengan sudut 5°-55° dengan *step size* 0,04° dan menggunakan panjang gelombang Cu K- $\alpha_1$ . Pengujian XRD menggunakan difraktometer sinar-X yang dilakukan di Departemen Material Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

### **3.3.2 Pengujian CHONS**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase komposisi unsur karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan sulfur di dalam bahan. Sampel yang diujikan adalah serbuk tempurung kelapa tua hasil pembakaran di udara terbuka. Pengujian dilakukan di laboratorium Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



### 3.3.3 Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Pengujian XRF ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur yang ada di dalam bahan. Sampel yang diujikan adalah serbuk tempurung kelapa tua hasil pembakaran di udara terbuka. Pengujian dilakukan di Universitas Negeri Malang dengan alat jenis PaNalytical Type : Minipal 4.

### 3.3.4 Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Uji FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus ikatan yang terjadi pada bahan. Pada penelitian ini diharapkan melalui uji FTIR dapat mengkonfirmasi adanya gugus ikatan C-Cl yang menandakan bahwa atom Cl berhasil terdoping dalam rGO. Uji FTIR dilakukan di Departmen Kima Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

### 3.3.5 Pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA)

Uji PSA dilakukan untuk mengetahui ukuran dan distribusi ukuran partikel rGO. Pengujian menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) zetasizer, yang ditampilkan pada Gambar 3.2,



**Gambar 3. 2 PSA Zetasizer di Departemen Fisika ITS**

yang berada di laboratorium zat padat Fisika Fmipa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

### 3.3.6 Pengujian *Four-Point Probe*

Uji four-point probe dilakukan untuk mengetahui konduktivitas dari bahan. Elektroda sampel dibentuk menjadi sebuah pellet yang kemudian dilapisi pasta perak diatasnya. Uji ini akan mendapatkan data berupa tegangan keluaran dan arus keluaran. Untuk menghitung konduktivitas sampel maka dilakukan perhitungan :

$$\sigma = \frac{I \cdot s}{V \cdot t \cdot r}$$

Dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas listrik bahan (S/cm),  $I$  adalah arus keluaran yang terbaca (A),  $s$  adalah jarak antar probe (cm),  $V$  adalah tegangan keluaran yang terbaca (V),  $t$  adalah tebal elektroda (cm) dan  $r$  adalah jari jari elektroda (cm).

Untuk mendapatkan nilai energi gap dari bahan, dilakukan plot grafik konduktivitas terhadap suhu. Dari grafik tersebut didapatkan sebuah gradient linier yang kemudian dimasukkan dalam perhitungan :

$$Eg = A \frac{k_B}{e}$$

Dimana  $Eg$  adalah energi gap dari bahan (eV),  $A$  adalah gradient linier dari grafik,  $k_B$  adalah konstanta Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K), dan  $e$  adalah konstanta muatan elektron ( $-1,6 \times 10^{-19}$  C).

### 3.3.7 Pengujian *Cyclic Voltametry* (CV)

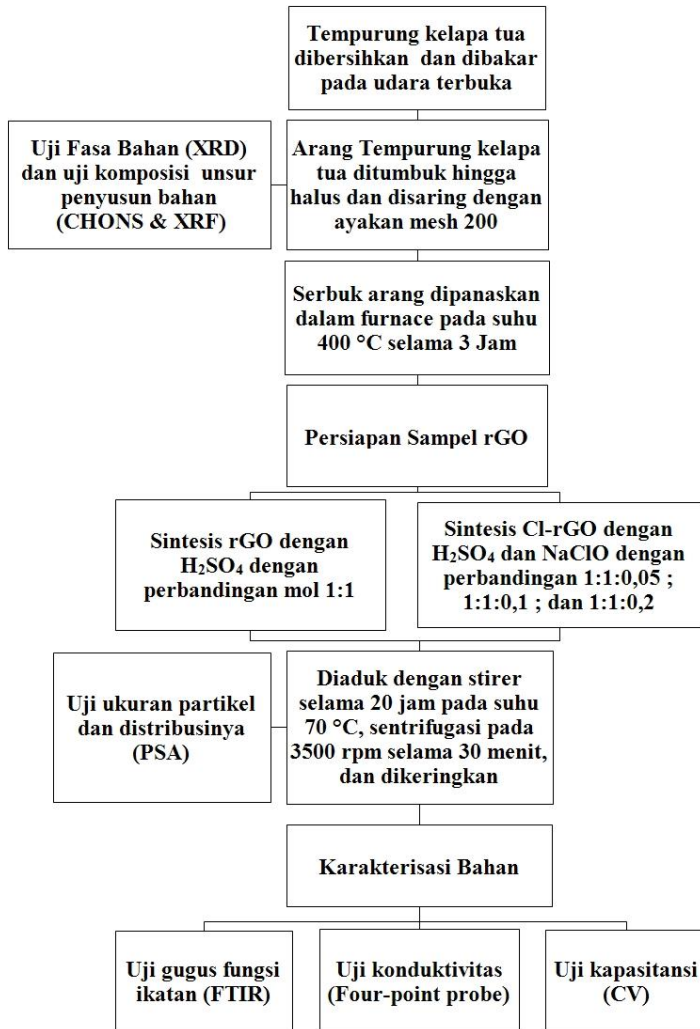
Karakterisasi sifat kapasitansi dilakukan dengan uji *Cyclic Voltametry*. Uji ini akan menunjukan grafik pengisian muatan dan pelepasan muatan dari sampel yang diuji. Pengujian CV dilakukan

di Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi *scanrate* yaitu 5 mV/s, 50 mV/s, dan 100 mV/s dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M dengan *potential window* batas bawah sebesar -0,8 Volt dan batas atas sebesar 0,8 Volt. Nilai kapasitansi spesifik dihitung menggunakan persamaan :

$$C = \frac{1}{mv(V_2 - V_1)} \int_{V_1}^{V_2} I(V)dV$$

Dimana  $I$  adalah arus konstan (A),  $m$  adalah massa sampel atau elektroda (g),  $v$  adalah *scan rate* (V/s),  $V_2$  adalah *potential window* batas atas (V), dan  $V_1$  adalah *potential window* batas bawah (V).

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

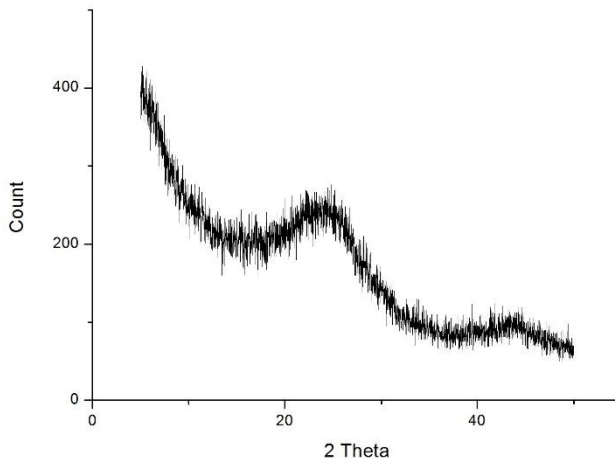
## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

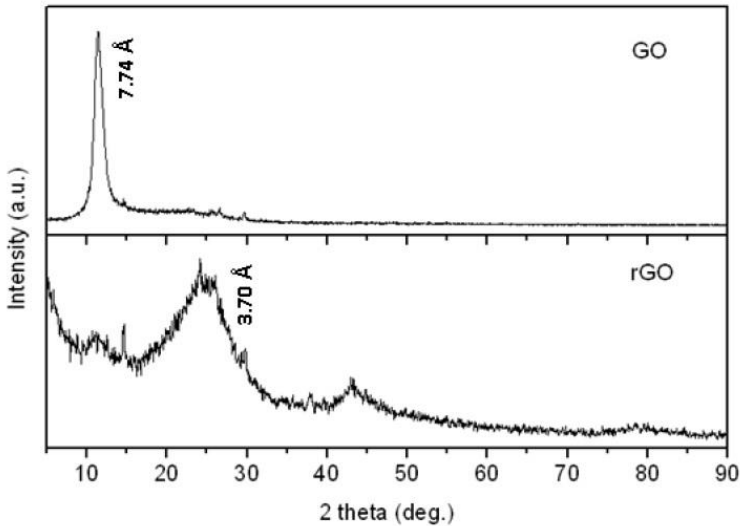
#### 4.1 Analisis Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua

##### 4.1.1 Hasil Uji Fasa

Untuk mengetahui komposisi fasa serbuk arang tempurung kelapa tua hasil pembakaran maka dilakukan uji *X-Ray Diffraction* (XRD). Gambar 4.1 menunjukkan hasil pola difraksi pada serbuk arang tempurung kelapa tua. Spektrum gelombang XRD yang diukur dengan rentang sudut  $2\theta$  antara  $5^\circ$ - $50^\circ$  menunjukkan bahwa terbentuk puncak pada sudut  $2\theta = 24^\circ$  dan  $44^\circ$ . Berdasarkan Fu dkk pada tahun 2013, fasa rGO akan membentuk puncak-puncak pada sudut  $2\theta$  sekitar  $20^\circ$  dan  $40^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dan dari hasil ini dapat diketahui bahwa serbuk arang tempurung kelapa tua tersebut memiliki fasa rGO.



**Gambar 4. 1 Pola difraksi serbuk arang tempurung kelapa tua**



**Gambar 4. 2** Pola difraksi GO dan rGO (Fu dkk. 2013)

Terbentuknya puncak pada sudut  $2\theta = 24^\circ$  mengindikasikan bahwa terbentuk bidang kristal (002) dan pada sudut  $2\theta = 44^\circ$  mengindikasikan bahwa terbentuk bidang kristal (100). Kedua refleksi bidang kristal tersebut menandakan adanya lembaran grafena dengan kisi kristal *honeycomb* (hexagonal) yang merupakan hibridisasi dari  $sp^2$  (Stobinski dkk, 2014).

#### 4.1.2 Hasil Uji Komposisi Penyusun Bahan

Karena arang tempurung kelapa tua merupakan bahan alam, maka akan terdapat banyak ketidakmurnian atau unsur pengotor di dalamnya. Untuk mengetahui unsur-unsur penyusun dari sampel ini maka dilakukan uji CHONS dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pada uji untuk mengetahui komposisi penyusun ini dilakukan dua kali pengujian karena uji XRF terbatas hanya untuk mengetahui unsur-unsur pengotor dari sampel. Sedangkan untuk mengetahui

keseluruhan komponen penyusun sampel, maka dilakukanlah uji CHONS.

**Tabel 4.1** Hasil uji komposisi penyusun bahan pada Serbuk Arang Tempurung Kelapa Tua

Komponen	Presentase CHONS (%)
C	81,48
H	7,61
O	9,02
N	0,532
S	0,012
P	0,023
K	0,875
Ti	0,003
Fe	0,040
Ni	0,030
Zn	0,013
Rb	0,010
Ba	0,025
Re	0,008
Al	0,007
Cu	0,046
<b>TOTAL</b>	<b>99,734</b>

Berdasarkan data yang ditampilkan oleh Tabel 4.2, dapat kita lihat bahwa berdasarkan hasil uji XRF dan CHONS didapatkan bahwa unsur utama penyusun material ini adalah karbon (C), Hidrogen (H), dan oksigen (O). Hal ini sesuai dengan teori, dimana unsur utama penyusun rGO adalah karbon, hidrogen dan oksigen. Selain itu, terdapat berbagai jenis unsur pengotor di dalam sampel ini. Kalium (K) merupakan unsur pengotor paling banyak di dalam



sampel, yaitu sebesar 0,875 % dari keseluruhan unsur. Hal ini dikarenakan sampel berasal dari tempurung kelapa, sehingga terdapat banyak unsur kalium di dalamnya. Banyaknya persentase unsur pengotor di dalam sampel ini merupakan hal yang membedakan rGO yang terbuat dari tempurung kelapa tua dengan rGO yang berasal dari grafit. Persentase unsur pengotor pada rGO dari grafit akan lebih sedikit dibanding dengan rGO dari tempurung kelapa tua, terutama pada unsur kalium ([www.nanomaterials.pl](http://www.nanomaterials.pl)).

#### 4.2 Analisis rGO dan rGO-Cl

Perlakuan panas pada serbuk arang tempurung kelapa tua dilakukan bukan hanya untuk menghilangkan air yang tersisa di dalam serbuk tapi juga untuk mengurangi molekul yang mengandung oksigen di dalam serbuk, seperti OH, COOH dan epoksi. Dengan berkurangnya molekul yang mengandung oksigen, maka ketebalan lapisan dari rGO semakin berkurang (Akhavan, 2010).

Pada saat dilakukan eksfoliasi kima dengan menggunakan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , terjadi penyisipan atom sulfur ke dalam antar layer rGO. Atom-atom S dalam senyawa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terputus dari ikatannya dengan hidrogen dan oksigen lalu menyisip diantara ikatan lemah *van der Waals* dalam lapisan rGO. Proses pengadukan dengan perlakuan panas ( $70\text{ }^\circ\text{C}$ ) memberikan energi tambahan pada senyawa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sehingga mengakibatkan atom S terputus ikatannya dan kemudian menyisip diantara lembaran rGO. Pada saat proses ultrasonik terjadi fenomena terciptanya dan hancurnya gelembung berukuran micrometer yang diakibatkan oleh fluktuasi tekanan di dalam larutan. Fenomena ini terjadi pada rGO yang disonikasi, sehingga terjadi eksfoliasi. Setelah eksfoliasi, interaksi rGO dengan solven melakukan penyeimbangan pada gaya Tarik menarik yang terjadi pada antar lembaran sehingga akan tercipta lembaran lembaran rGO yang berdiri sendiri (Ciesielski dkk, 2014).

#### 4.2.1 Hasil Uji Ukuran Partikel dan Distribusinya

Hasil karakterisasi *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran partikel dan distribusinya ditunjukkan oleh grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.3. Ukuran partikel disini merepresentasikan diameter permukaan rGO. Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.3 didapat bahwa sampel rGO yang diberi perlakuan eksfoliasi kimia dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tanpa doping atom Cl memiliki ukuran partikel sebesar 21,29 nm dengan persentase 96,8 % dan 4163 nm dengan persentase 3,2 %. Perbedaan persentase intensitas disini menandakan bahwa distribusi ukuran partikel tidaklah homogen, masih ada partikel yang berukuran besar yang kemungkinan merupakan ukuran awal partikel serbuk tempurung kelapa tua. Untuk sampel rGO dengan doping Cl dilakukan variasi berupa komposisi banyaknya mol senyawa NaClO yang dicampurkan. Dari hasil varisasi tersebut didapatkan tiga grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil ukuran partikel tiap sampel ditunjukkan pada Tabel 4.1.

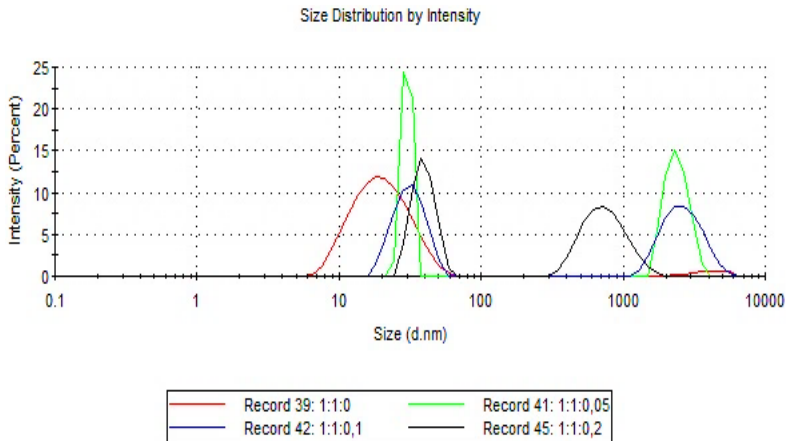
**Tabel 4.2** Hasil ukuran partikel dengan menggunakan PSA

No	Sampel	Ukuran Partikel	
		Puncak 1 (nm)	Puncak 2 (nm)
1	rGO (1:1:0)	21,29	4163
2	rGO-Cl (1:1:0,05)	2395	30,08
3	rGO-Cl (1:1:0,1)	31,75	2695
4	rGO-Cl (1:1:0,2)	767,8	39,44

Dari hasil sampel rGO dan rGO-Cl ini didapatkan bahwa semakin besar perbandingan komposisi mol NaClO yang dicampurkan maka ukuran partikel atau diameter dari rGO akan semakin besar. Hal ini kemungkinan terjadi karena doping atom Cl yang memiliki jari jari lebih besar dari atom C menyebabkan ukurannya semakin membesar, sehingga semakin banyak perbandingan Cl maka akan semakin besar ukuran partikelnya. Ada dua kemungkinan yang bisa terjadi karena terciptanya dua

puncak pada grafik. Terciptanya dua puncak pada grafik dapat mengindikasikan terciptanya rGO yang berbentuk *flake* namun distribusi partikel yang tercipta tidak homogeny, atau terciptanya material rGO yang memiliki satu layer dimana puncak dengan ukuran partikel yang kecil merepresentasikan ketebalan lapisan dan ukuran partikel yang lebih besar merepresentasikan diameter permukaan rGO.

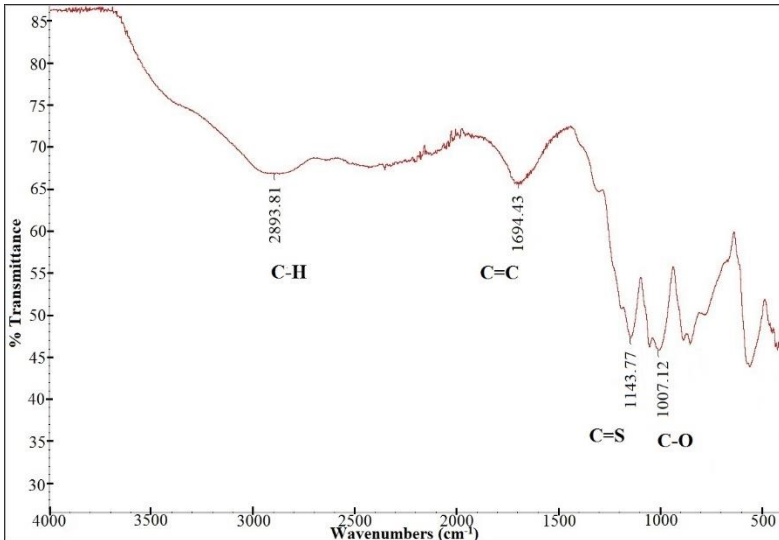
Pada saat proses eksfoliasi kimia sebuah domain-domain baru akan tercipta dengan ukuran yang lebih kecil dari rGO awal, namun dengan jumlah yang lebih banyak. Semakin kecilnya ukuran partikel ini dikarenakan terputusnya ikatan antara C-C dalam rGO. Keadaan ini terjadi karena oksidasi dan eksfoliasi menyebabkan lebih banyak terciptanya defek dan gugus fungsional di dalam rGO, sehingga mereduksi ukuran atau luas dari lembaran rGO (Zhang, 2009).



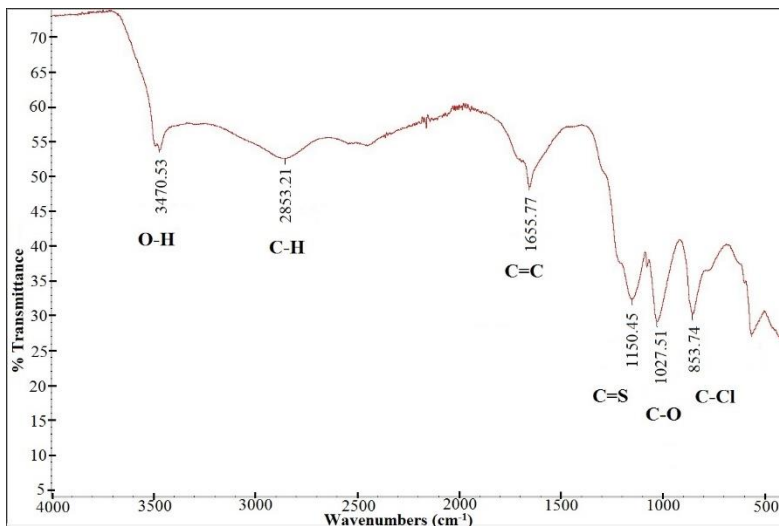
**Gambar 4. 3 Hasil pengujian ukuran partikel dan distirbusinya dari rGO dan rGO-Cl menggunakan PSA**

#### 4.2.2 Hasil Uji Fungsi Gugus Ikatan

Untuk mengetahui terbentuknya ikatan C-Cl maka dilakukan uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Gambar 4.4 menunjukkan grafik spektrum FTIR pada rGO yang dieksfoliasi kimia dengan menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sedangkan Gambar 4.5 menunjukkan grafik spektrum FTIR pada rGO-Cl yang juga dieksfoliasi kimia dengan menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Perbedaan dari rGO yang tidak didoping Cl dengan yang didoping atom Cl terlihat pada panjang gelombang  $853,74 \text{ cm}^{-1}$ , berdasarkan Kakaei dkk. (2016) puncak ini merupakan ikatan C-Cl. Sedangkan untuk puncak pada panjang gelombang pada daerah  $1150 \text{ cm}^{-1}$  merupakan indikasi ikatan C=S. dan untuk puncak puncak pada daerah panjang gelombang  $3400 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2800 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1600 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1000 \text{ cm}^{-1}$  secara berurutan merupakan gugus ikatan O-H, C-H, C=C dan C-O.



Gambar 4. 4 Grafik FTIR sampel rGO



**Gambar 4. 5** Grafik FTIR sampel rGO-Cl

#### 4.2.3 Hasil Uji Konduktivitas

Untuk mengetahui konduktivitas dari rGO dan rGO-Cl dilakukanlah uji konduktivitas dengan menggunakan *four-point probe*. Melalui uji *four-point probe* didapatkan nilai tegangan keluaran dan arus keluaran dari masing masing sampel. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai konduktivitasnya. Setelah mendapatkan nilai konduktivitas, didapatkan nilai energi gap dengan membuat plot dari grafik konduktivitas dan waktu. Hasil perhitungan konduktivitas dan energi gap setiap sampel ditampilkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil perhitungan konduktivitas dan energi gap

No	Sampel	Konduktivitas (S/cm)	Energi Gap (eV)
1	rGO (1:1:0)	0,061	0,251
2	rGO-Cl (1:1:0,05)	3,252	0,222

3	rGO-Cl (1:1:0,1)	0,507	0,274
4	rGO-Cl (1:1:0,2)	0,012	0,099

Konduktivitas dari sebuah rGO bergantung pada kontak antar partikel. Selain itu konduktivitas dari rGO juga dipengaruhi oleh mobilitas perpindahan pembawa muatan, sehingga gugus fungsi yang ada dalam rGO seperti karboksil, karbonil, epoksi dan hidroksil sangat mempengaruhi konduktivitas dari rGO. Berdasarkan Pei dkk. (2011), dengan mengurangi unsur oksigen yang terkandung di dalam grafena atau meningkatkan rasio C/O dapat meningkatkan konduktivitas dari rGO. Rendahnya konduktivitas pada penelitian ini kemungkinan disebabkan masih banyaknya unsur oksigen dan banyaknya unsur pengotor, sehingga menciptakan banyak defek yang menyebabkan mobilitas pembawa muatan terhambat.

Dari hasil konduktivitas tersebut didapatkan bahwa doping atom Cl meningkatkan konduktivitas dari rGO. Atom Cl merupakan dopan tipe-p, doping dengan atom Cl menyebabkan konsentrasi *hole* di dalam grafena meningkat. Selain itu, atom Cl memiliki mobilitas pembawa muatan yang besar sehingga akan meningkatkan konduktivitas dari grafena.

Namun dari data yang didapat konduktivitas dari rGO semakin menurun seiring meningkatnya komposisi mol Cl di dalam rGO. Hal ini sesuai dengan penelitian Zhang dkk. (2016) yang menunjukkan bahwa doping atom Cl pada karbon akan meningkatkan konduktivitas namun akan berangsur berkurang seiring dengan semakin banyaknya konsentrasi doping. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perubahan struktur susunan atom dalam rGO. Konduktivitas tertinggi dari rGO-Cl didapatkan pada komposisi mol 1:1:0,05 dengan nilai sebesar 3,252 S/cm.

Energi gap yang didapat menghasilkan nilai yang berfluktuasi berdasarkan komposisi mol yang diberikan. Energi gap tertinggi didapatkan pada komposisi 1:1:0,1 sebesar 0,274 eV dan nilai

terendah didapatkan pada komposisi 1:1:0,2 sebesar 0,099 eV. Berdasarkan Wang dkk. (2014), doping atom Cl dalam grafena akan mempersempit atau memperkecil celah pita energi grafena.

#### 4.2.4 Hasil Uji Kapasitansi

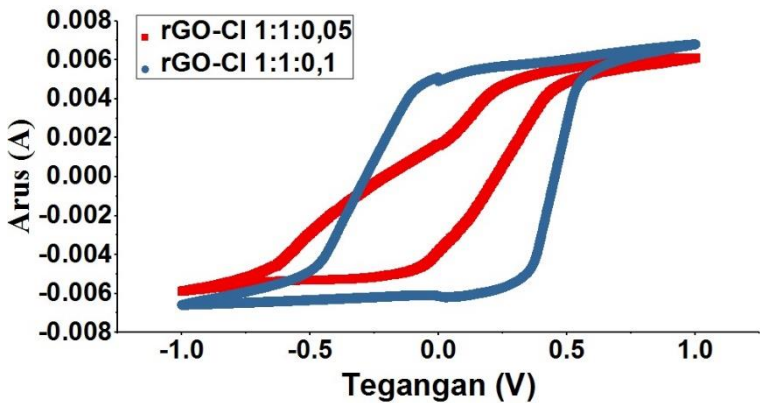
Uji kapasitansi sampel dilakukan dengan menggunakan *Cyclic Voltametry* (CV) jenis pengukuran tiga elektroda. Dari hasil pengukuran tersebut didapat sebuah grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Setelah dilakukan perhitungan nilai kapasitansi yang didapat pada rGO-Cl komposisi 1:1:0,05 dan 1:1:1:0,1 adalah sebesar 2,64 F/g dan 5,70 F/g. Dua sampel rGO dan rGO-Cl dengan komposisi 1:1:0,2 tidak berhasil diuji karena kurangnya kekuatan mekanik sehingga pecah ketika dipasangkan pada penjepit elektroda. Gambar 4.6 menampilkan hasil grafik dari uji CV rGO-Cl. .

Nilai kapasitansi suatu elektroda bergantung dari luas permukaan dari bahan yang digunakan. Semakin besar kontak yang terjadi antara permukaan bahan dengan elektrolit maka semakin banyak elektron yang akan ditransfer. Meskipun grafena murni memiliki luas permukaan yang besar dan konduktivitas yang sangat baik, ternyata grafena tidak dapat menghasilkan kapasitansi elektrokimia (pseudokapasitansi). Berdasarkan penelitian Joon Oh dkk. (2014), gugus fungsi oksigen seperti karbonil, karboksil, fenol dan *quinone* berpengaruh terhadap kapasitansi rGO. Namun gugus oksigen yang terlalu banyak akan membuat proses difusi ion pada rGO menjadi tidak stabil.

Kecilnya nilai kapasitansi yang didapat merupakan akibat dari banyaknya unsur pengotor dalam rGO, sehingga banyak tercipta defek yang kemudian mengganggu proses transfer ion/elektron.

Pada penelitian ini sampel elektroda yang dibentuk memiliki massa kurang lebih 1,2 g dan ketebalan yang didapat untuk setiap sampel kurang lebih sebesar 5 mm. Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang digunakan memiliki konsentrasi 0,1 M dan rentang potensial yang digunakan

adalah 2 V. Berdasarkan Ruoff dan Stoller (2010), hal-hal demikian yang tidak sesuai dengan standar elektroda membuat hasil grafik yang terbaca maupun perhitungan tidak akurat. Maka dari itu hasil penelitian ini mendapatkan nilai yang kecil kemungkinan diakibatkan kurangnya standarisasi pada saat uji CV dilakukan.



Gambar 4. 6 Hasil uji CV rGO-CI



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Studi Sifat Kelistrikan rGO-Cl dari Tempurung Kelapa Tua dengan Eksfoliasi Kimia menggunakan Larutan  $H_2SO_4$ ” dapat dihasilkan kesimpulan berupa doping atom Cl ke dalam struktur rGO dapat meningkatkan konduktivitas listik maupun kapasitansi dari rGO, sebelum kemudian menurun kembali ketika terlalu banyak konsentrasi Cl di dalam rGO. Selain itu didapatkan kesimpulan bahwa konduktivitas listrik pada rGO-Cl untuk sampel dengan komposisi perbandingan mol 1:1:0 ; 1:1:0,05 ; 1:1:0,1 ; dan 1:1:0,2 secara berturut turut adalah 0,061 S/cm ; 3,252 S/cm ; 0,507 S/cm dan 0,099 S/cm, sedangkan untuk kapasitansi spesifik rGO-Cl dengan perbandingan komposisi mol 1:1:0,05 dan 1:1:0,1 adalah 2,64 F/g dan 5,70 F/g.

#### 5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dilakukan beberapa hal yang dapat dijadikan pengembangan untuk penelitian selanjutnya seperti berikut :

1. Penggunaan *current collector* dibandingkan membentuk elektroda berbentuk pellet dalam uji CV.
2. Penggunaan *binder* agar meningkatkan kekuatan mekanik dari elektroda saat uji CV.
3. Mengikuti beberapa standar elektroda superkapasitor dan teknis dalam uji CV.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhavan, Omid. 2010. The effect of heat treatment on formation of graphene thin films from graphene oxide nanosheets. *Carbon*, Vol. 48, Hal. 509-519.
- Bolotin, Kirill dkk. 2008. Ultrahigh electron mobility in suspended graphene. *Solid State Communications*, Vol. 146, Hal. 351-355.
- Ciesielski, Arthur dan Paolo Samori. 2013. Graphene via sonication assisted liquid-phase exfoliation. *Chem. Soc. Rev.*, Vol. 43, Hal. 381-398.
- Fu, Changjing dkk. 2013. Evaluation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Nanosheets as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries. *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol. 8, Hal. 6269-6280.
- Geim, K. Andre. 2009. Graphene: Status and Prospects. *Science*. Vol. 324, Hal. 1530-1534.
- Geim, A.K dan K. S Novoselov. 2007. Rise of graphene. *Nature Materials*, Volume 6, Hal. 183-191.
- Hong, Yanzhong dkk. 2013. Sulfuric acid intercalated graphite oxide for graphene preparation. *Scientific Reports*, 3, 3439.
- Joon Oh, Young dkk. 2013. Oxygen functional groups and electrochemical capacitive behavior of incompletely reduced graphene oxide as a thin-film electrode for supercapacitor. *Electrochimica Acta*, Vol. 116, Hal 118-128.
- Kaempgen, M. dkk. 2009. Printable thin film supercapacitor using single-walled carbon nanotubes. *Nano. Lett.*, Vol. 9, Hal. 1872-1876.

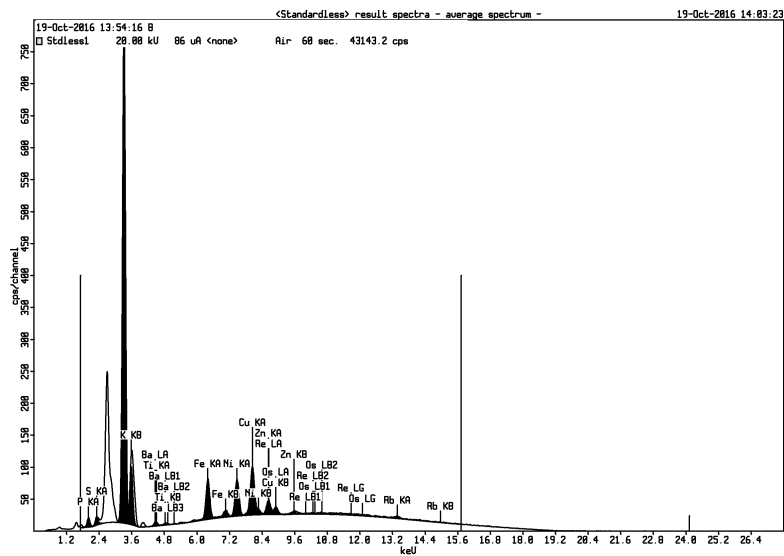
- Kakaei, Karim dkk. 2016. Chlorine-doped reduced graphene oxide as an efficient and stable electrode for supercapacitor in acidic medium. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 479, Hal. 121-126.
- Ke, Qingqing dan John Wang. 2016. Graphene-based materials for supercapacitor Electrodes – A Review. *Journal of Materiomics*. Vol. 2, Issue 1, Hal. 37-54.
- Kim, Hyuwoo dkk. 2010. Graphene/polymer nanocomposites. *Macromolecules*, Vol. 43, Hal. 6515-6530.
- Liu, Hongtao dkk. 2010. Chemical doping of graphene. *Journals of Materials Chemistry*, Vol. 21, Hal. 3335-3345.
- Morimoto, Naoki dkk. 2016. Tailoring the oxygen content of graphite and reduced graphene oxide for specific applications. *Scientific Reports*, Vol. 6, Article Number 21715.
- Nasrullah, M. 2014. “Analisis Fasa dan Lebar Celah Pita Energi Karbon Pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa”. Surabaya: Lapidang Tugas Akhir Fisika FMIPA-ITS.
- Novoselov, Kostya dkk. 2007. Electronic properties of graphene. *Phys. Stat. Sol.*, Vol. 244, No. 11, Hal. 4106-4111.
- Nugrahaeni, Y. Ananda dkk. 2015. Study on phase, molecular bonding, and bandgap of graphene oxide prepared by heating coconut shell. *Material Science Forum*, 827, Hal. 285-289.
- Pei, Songfeng dan Hui-Ming Cheng. 2011. The Reduction of graphene oxide. *Carbon*, Vol. 50, Hal. 3210-3238.
- Stankovich, Sasha dkk. 2007. Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide. *Carbon*, Vol. 45, Hal. 1558-1565.

- Stobinski, Leszek dkk. 2014. Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM, and electron spectroscopy methods. *Journa of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, Vol. 195, Hal. 145-154.
- Stoller, Meryl D. dan Rodney Ruoff. 2010. Review of best practice methods for determining an electrode material's performance for ultracapacitor. *Energy Environ,Sci.*, Vol. 3, Hal. 1294-1301.
- Suhartana, S., 2006. Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya Untuk Penjernihan Air Sumur di Desa Belor Kecamatan Ngaringan Kabupaten Grobogan. *Berk. Fis.* 9, Hal. 151–156.
- Sun, Li dkk. 2013. From coconut shell to porous graphene-like nanosheets for high-power supercapacitors. *Journal of Material Chemistry*, Vol.1, Hal. 6462.
- Usachov, Dimitri dkk. 2011. Nitrogen-doped graphene: efficient growth, structure, and electronic properties. *Nano Letters*, Vol. 11, Hal. 5401-5407.
- Wang, Xuewan dkk. 2014. Heteroatom-doped graphene materials: syntheses, properties and applications. *Royal Society of Chemistry*. Vol. 43, Hal 7067-7098.
- Winter. M. dan R. Brodd. 2014. What are batteries, fuel cells, and supercapacitors. *J. Chem. Rev.*, Vol. 104, Hal. 4245-4269.
- [www.nanomaterials.pl/properties](http://www.nanomaterials.pl/properties) (diakses pada 15 Juni 2017 Pukul 01:50)
- Xia, Y. Zhen dkk. 2013. The exfoliation of graphene in liquids by electrochemical, chemical, and sonication-assisted techniques: a nanoscale study. *Advanced. Functional Materials*.

- You, Bo dkk. 2013. Three dimensional N-doped graphene-CNT networks for supercapacitor. *Chem. Commun.*, Vol. 49, Hal. 5016-5018.
- Zhang, L. Li dkk. 2010. Graphene-based materials as supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Chemistry*, 20, 5893-5992.
- Zhang, Long dkk. 2009. Size-controlled synthesis of graphene oxide sheets on large scale using chemical exfoliation. *Carbon*, Vol. 47, Hal. 3365-3380.
- Zhong, L. Yu dkk. 2014. Scalable production of graphene via wet chemistry: progress and challenges. *Materials Today*, Volume 00, Number 00.

LAMPIRAN

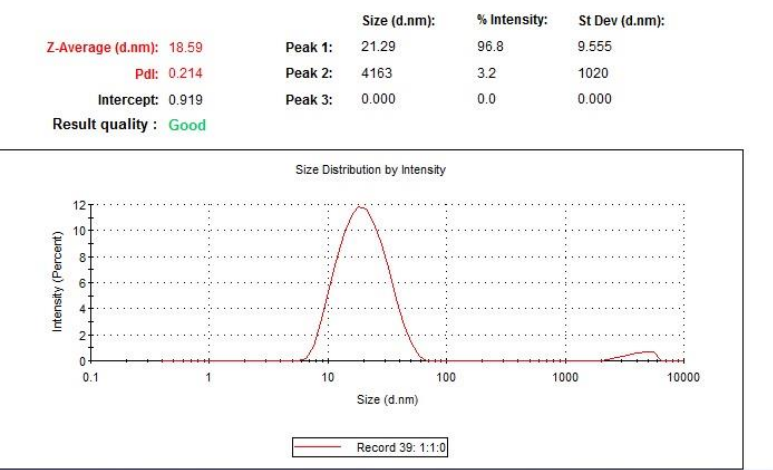
DATA XRF



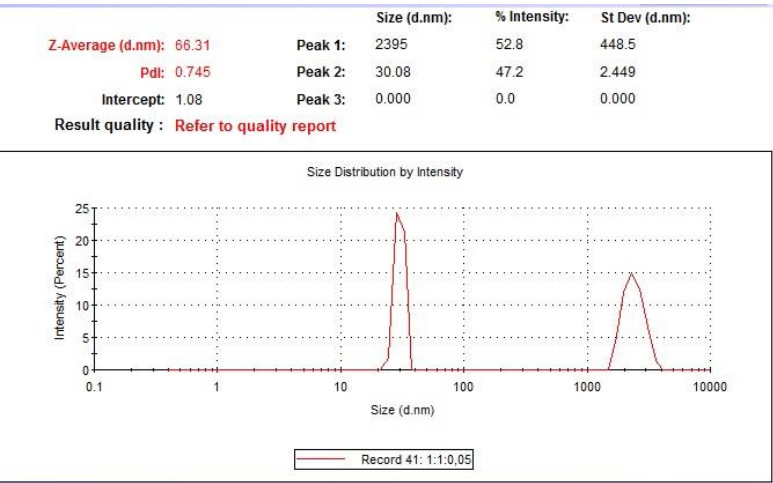
Gambar 1 Spektrum grafik hasil uji XRF



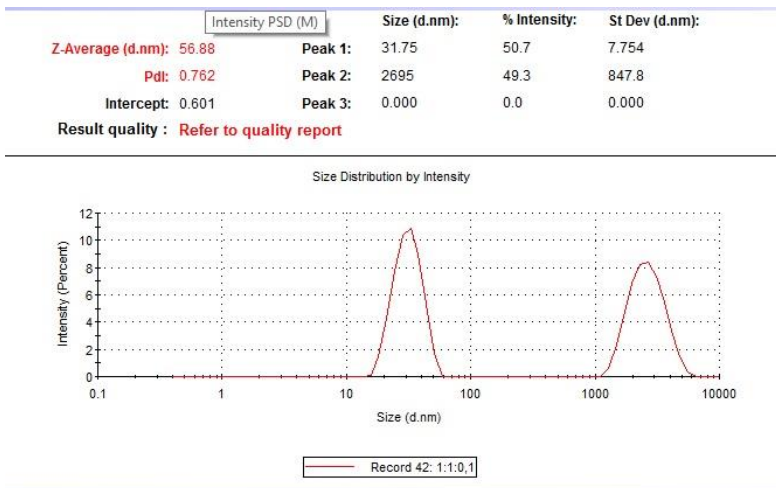
DATA PSA



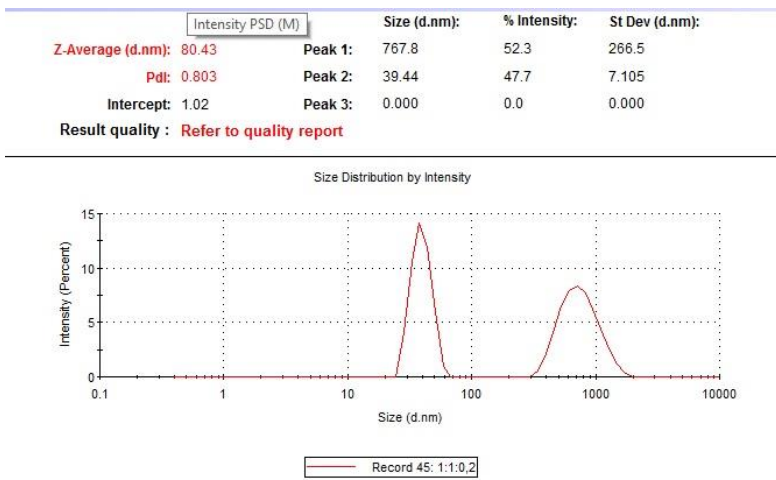
Gambar 2 Grafik ukuran partikel dan distribusinya sampel rGO-Cl 1:1:0



Gambar 3 Grafik ukuran partikel dan distribusinya sampel rGO-Cl 1:1:0,05



**Gambar 4 Grafik ukuran partikel dan distribusinya sampel rGO-Cl 1:1:0,1**



**Gambar 5 Grafik ukuran partikel dan distribusinya sampel rGO-Cl 1:1:0,2**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis berasal dari kota Surabaya, dan dilahirkan pada 27 Desember 1994 dari pasangan berbahagia Bapak Jeffry Octavianus dan Ibu Ribut Setyo Utami. Penulis merupakan anak ketiga dari tujuh bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SDN Banjarbendo Malang, SMPN 1 Rambipuji, dan SMAN 4 Jember. Semasa perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember aktif dalam beberapa organisasi mahasiswa. Penulis pernah mengemban amanah menjadi Ketua PPU Presbem ITS dan sebagai Kepala Divisi Litbang Lembaga Pers Mahasiswa 1.0. Waktu luang penulis sering diisi dengan kegiatan menulis, basket, futsal dan berbagai jenis olahraga lainnya bersama teman-teman. Akhir kata bila ada kritik dan saran kirim ke: [erikdimas13@gmail.com](mailto:erikdimas13@gmail.com)